

AMCoR

Asahikawa Medical College Repository <http://amcor.asahikawa-med.ac.jp/>

北海道放射線技術雑誌 (1988.03) 48号:134～141.

吸収線量の新標準測定法に関する当施設の対応

西部茂美、平田良昭

資料

吸収線量の新標準測定法に関する当施設の対応

西部 茂美* 平田 良昭*

1. 緒 言

日本医学放射線学会物理部会により、線量測定の精度・正確度のより一層の向上を旨とし、最近の最も信頼出来る情報や物理データ等を採用することにより、吸収線量の計算方法が全面的に改訂され、光子と電子線に共通して成立する統一方式が導入されるに至った。

その際、線量測定過程で用いられる光子及び電子線に対する吸収線量変換係数及び実効質量阻止能の計算式や、その他新しい物理データの採用にともない、J A R P 型線量計を保有しない当施設の対応について、現状で実施可能な方法により、測定・検討し、その結果を分析して報告する。

2. 使用装置及び機器

2. 1 医療用直線加速器

ML-15MII B ; X線エネルギー10MV, 電子線エネルギー6, 8, 10, 12, 15 MeV (三菱電気)

2. 2 コバルト60遠隔治療装置

R C R-120-C。(東芝メディカル)

2. 3 線量測定器

I O N E X 線量計 Type 2500/3, 0.6cc電離箱, No.2581 (NUCLEAR ENTERPRISES)

2. 4 大気条件測定器

i) 携帯用サーミスタ温度計 No.4295 (新日本計測)

ii) アネロイド気圧計 Type8A (YANAGI計測)

2. 5 線量計算用パーソナルコンピューター

9801VM21等 (NEC)

2. 6 ファントム

Mix-Dp 30×30 cm²

3. 検討内容

3. 1 コバルト60空中組織吸収線量測定

3. 2 10MV X線のエネルギー校正

3. 3 10MV X線の出力測定

3. 4 6, 8, 10, 12, 15 MeV 電子線のエネルギー校正

3. 5 6, 8, 10, 12, 15 MeV 電子線の出力測定

4. 方法及び結果

4. 1 コバルト60空中組織吸収線量測定

ある点での空中照射線量を X_{air} [c/kg], 空中組織吸収線量を $D_{\Delta m}$ [c Gy] とすると、次式で表わされる。 $D_{\Delta m} = X_{air} \cdot (W_{air}/e) \cdot \beta_{\Delta m} \cdot A_{\Delta m} \cdot (\bar{\mu}_{en}/\rho)_{water, air} \cdot 2.58 \cdot 10^{-2}$

ただし、 $\beta_{\Delta m}$ は同一点における水吸収線量と水衝突カーマとの比で1.005を採用した。¹⁾又 $A_{\Delta m}$ は質量 Δm の水に対するガンマ線の吸収と散乱による X_{air} の変化に対する補正係数で0.985を採用した²⁾。 Δm は球形の水又は水等価物質とし、その球の中心で吸収線量のビルドアップの形成がちょうど成立する大きさの吸収体である。 W_{air} は空気中に1イオン対を作るに要する平均エネルギーで、国家標準機関などの動向と合わせ、 $W_{air}/e = 33.73eV$ を採用した。ただし、 e は素電荷である。 $(\bar{\mu}_{en}/\rho)_{water, air}$ は、コバルトガンマ線に対する水と空気との平均質量エネルギー吸収係数の比³⁾⁴⁾で Table 1 から1.111を採用した。

尚、イオン再結合補正並びに線量計の指示値に対するシャット端効果の寄与は、無視出来る。よって、空中組織吸収線量 $D_{\Delta m} = 0.957 \cdot$ 空中照射線量 X_{air} となった。

4. 2 10MV X線のエネルギー校正

放射線治療におけるX線エネルギーを知ることの第一の狙いは、線量評価のための線質の決定にあり、平

* 旭川医科大学医学部附属病院 放射線部

線質 (MV)	(μen/ρ) _{w,air}						
	Water	Polystyrene	Acrylic	A-150	C-552	Bakelite	Nylon
2	1.111	1.072	1.078	1.100	1.000	1.051	1.090
4	1.111	1.072	1.078	1.099	1.000	1.055	1.092
8	1.109	1.068	1.075	1.092	0.998	1.052	1.090
10	1.108	1.066	1.072	1.089	0.997	1.049	1.087
15	1.105	1.053	1.063	1.078	0.995	1.039	1.075
20	1.094	1.038	1.051	1.065	0.992	1.027	1.061
25	1.092	1.032	1.047	1.060	0.991	1.022	1.055
30	1.085	1.016	1.034	1.044	0.989	1.009	1.039
45	1.074	0.980	1.009	1.010	0.983	0.982	1.000

Table 1 質量エネルギー吸収係数の比

均質量阻止能比や擾乱係数を求めることにある。

i) 従来の方法

X線のエネルギー決定というより、先人の発表データ、例えば深部量百用率や組織/ピーク線量比などの利用にあり、よく使用される方法は50%深部量となる深さの測定に基づく校正法で、当施設では18cmとなる。さらに利用しようとするX線の線量分布が、既発表のデータに比べほとんど差がなければ、このX線のエネルギーは既発表の公称エネルギーに同等であるといえる。そこで、このデータ間をチェックする一つの方法として、ピーク深とX線エネルギーとの関係により、Q値を求める方法であったが、実際には公称エネルギーが同一でも、これらのデータが施設間で異なっていることが多く、加速器の種類や型式が同一でも見受けられ、その原因の多くは、公称エネルギーの設定時の不確かさにあり、さらに、ターゲット材質や厚さ、平坦用フィルター及びコリメーターの材質や構造などの違いによる。又、従来から採用して来たピーク深とX線エネルギーとの関係は、エネルギーが高くなるにつれ、ピーク部分が平坦となり、その位置を同定するのが困難となるので廃止となった。

ii) 新しい方法

深部線量の奥行きに関する情報としては、照射野10×10 cm²に対するTPR_{0.7}線量レベル、d_{0.7}を用いた。深部線量の勾配に関する情報としては、従来のものと見かけは異なるが、内容的には同等な、照射野10×10 cm²、深さ20cm及び10cmでのTPRの比を用いた。Fig.1はこれらの情報を、現在最も信頼出来ると思われるデータをもとに得た曲線を示したものである⁵⁾。尚、横軸はX線エネルギーを対数でプロットしたもので、水ファントムを用い、照射野10×10 cm²に対するTPRを測定すれば、d_{0.7}及びTPR(20, 10×10)

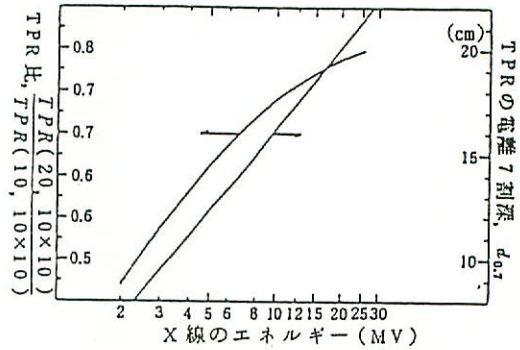


Fig. 1 TPR比及びTPR電離7割深とX線エネルギーとの関係

Fig. 1

／TPR(10, 10×10)の二つの指標が求められる。又、15MV以上のX線では、TPR比よりもd_{0.7}の方が、線質識別能が高いので、d_{0.7}を優先して用いているようである。次式に示すごとく、計算により求めることも出来る。

$$\lambda (MV) = -778.93 + 3660.7 \sqrt{TPR} - 5737.0 TPR^2 + 3015.0 \overline{TPR}^3$$

$$3 MV \leq \lambda \leq 15 MV : \Delta \lambda \leq 0.2 MV$$

$$\lambda (MV) = 0.5493 \exp(0.1787 \cdot d_{0.7})$$

$$3 MV \leq 30 MV : \Delta \lambda \leq 0.1 MV$$

式中の \overline{TPR} は、TPR比、 $\Delta \lambda$ はFig.1との差であり、8.1MVを得た。又、d_{0.7}とTPR比から求めた値は、8.3MVを得、当施設では両者の平均をとり、公称10MVのX線のエネルギーは8.2MVを採用することにした。

4. 3 10MV X線の出力測定

i) 従来の方法

$$Dc = M \cdot K \cdot Nc \cdot P_{ion} \cdot C\lambda \quad C\lambda = 0.93$$

Dc: 吸収線量 (rad, cGy)

M: 測定器の読値 (R)

K: 大気補正係数

Nc: コバルト校正定数

P_{ion}: イオン再結合補正係数

Cλ: 吸収線量変換係数

ii) 新しい方法

従来の計算式で表わすことが出来るが、吸収線量変換係数Cλの計算は、平均制限質量阻止能を実効値に置き換えた次式により算出する。

$$(C\lambda)_{med} = \frac{W_{air}}{e} \cdot A_c \cdot A_w \cdot \frac{1}{(f_{med})\lambda} \cdot (P_d \cdot P_l)\lambda$$

a · Acの計算

Table 2 に示すように³⁾⁶⁾, 円筒形電離箱の内径と Ac,

Ac = (βΔm) (AΔm) / Pc との関係により行う。表の値は、単位壁厚 (g/cm²) 当たりの%係数 (κ : cm²/g) で、Ac = 1 - κt/100 であり、κ は表から内径 0.63cm, 長さ 2.40cm の値を内挿で求めると 1.575 となった。又、t = 壁厚 + ビルドアップキャップの厚さ = 0.040 + 0.59 = 0.630g/cm² から、Ac = 0.990 を得た。

内筒長 (cm)	内径 (cm)			
	0.4	0.6	0.8	1.0
0.4	1.56	2.10	2.70	3.22
0.6	1.53	2.05	2.60	3.10
0.8	1.51	2.00	2.50	2.96
1.0	1.49	1.95	2.40	2.84
1.5	1.44	1.80	2.15	2.52
2.0	1.42	1.65	1.90	2.22
2.5	1.40	1.52	1.70	1.90

表の値は単位壁厚 (g/cm²) 当りの%係数 (κ) で、Ac = 1 - κt/100 であり、t は壁厚である。

Table 2 円筒形電離箱の内径と Ac との関係

b. Awの計算

$$A_w = [\alpha (L/\rho)_{air, cap} + \gamma (L/\rho)_{air, wall} + \beta (L/\rho)_{cap, wall} + (\bar{\mu}_{en}/\rho)_{wall, air}] c$$

ここで、(L/ρ)_{air, cap} (L/ρ)_{air, wall}、(μ_{en}/ρ)_{cap, air} 及び (μ_{en}/ρ)_{wall, air} は、Table 3 より³⁾⁶⁾, cap = Polystyrene 樹脂, wall = A-150 であることにより、それぞれ、1/1.112, 1/1.145, 1/0.928, 1/0.906 と得られる。δ は、Fig. 2 より求め³⁾⁶⁾, (壁厚 0.048/cm² であるから δ = 0.4) これを次式に代入して α を計算すると、

$$\alpha = \left\{ 1 + \frac{\delta}{(1-\delta)} \cdot \frac{(L/\rho)_{air, cap}}{(L/\rho)_{air, wall}} \cdot (\bar{\mu}_{en}/\rho)_{cap, wall} \right\}^{-1}$$

$$= \left\{ 1 + \frac{0.4}{(1-0.4)} \cdot \frac{1.1145}{1.112} \cdot \frac{0.906}{0.928} \right\}^{-1} = 0.599$$

$$\gamma = 1 - \alpha = 1 - 0.599 = 0.401$$

壁またはビルドアップキャップ	(L/ρ) _{wall, air} (μ _{en} /ρ) _{air, wall}	積	積
(Δ = 10keV)			
Polystyrene	1.112	0.928	1.032
Acrylic	1.103	0.925	1.020
Graphite	1.010	0.999	1.009
Tufnol			1.021
Valer	1.133	0.899	1.019
A-150	1.145	0.906	1.037
Nylon	1.141	0.910	1.038
C-552	1.000	1.000	1.000
Bakelite	1.080	0.945	1.021

Table 3 ⁶⁰CO γ線に対する阻止能力及び質量エネルギー吸収係数の比

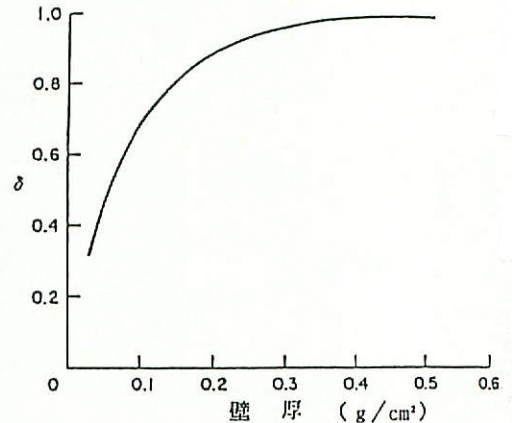


Fig. 2 ⁶⁰CO γ線で照射された際の電離箱空洞空気の内、電離箱壁からの電子による割合 (δ)

$$\therefore A_w = \frac{0.599}{1.112 \cdot 0.928} + \frac{0.401}{1.145 \cdot 0.906} = 0.580 + 0.387 = 0.967$$

C. (f med)λの計算

次式で行う。

$$(f_{med})\lambda = (\alpha (L/\rho)_{air, med} + \gamma (L/\rho)_{air, wall} + \beta (L/\rho)_{wall, med} + (\bar{\mu}_{en}/\rho)_{wall, med}) \lambda$$

ここで、(L/ρ)_{air, med} 及び (L/ρ)_{air, wall} は、med = water, wall = A-150 であるから、Table 4 より 1/1.1206, 1/1.1345 とそれぞれ求められる。

$$(\bar{\mu}_{en}/\rho)_{wall, air} / (\bar{\mu}_{en}/\rho)_{med, air} = \frac{1.0916}{1.1089}$$

を得た。尚、β_{wall, med} は 1.0 である。α は Fig. 3³⁾⁶⁾ から、壁厚 0.04 g/cm² の 8.2MV X線に対する δ の値を求めるわけであるが、この文献上からは、正確な値は求めら

材質 (MV)	(L _{en} /ρ) m.air						
	Water	Polystyrene	Acrylic	A-150	C-552	Bakelite	Nylon
2	1.135	1.114	1.104	1.154	1.003	1.084	1.148
⁶⁰ Co	1.134	1.113	1.103	1.151	1.000	1.081	1.142
4	1.131	1.108	1.099	1.146	0.998	1.075	1.136
6	1.127	1.103	1.093	1.141	0.992	1.070	1.129
8	1.121	1.097	1.088	1.135	0.987	1.063	1.120
10	1.117	1.094	1.085	1.130	0.983	1.060	1.114
15	1.106	1.083	1.074	1.119	0.972	1.051	1.097
20	1.096	1.074	1.065	1.109	0.963	1.042	1.087
25	1.093	1.071	1.062	1.106	0.960	1.038	1.084

Table 4 光子に対する阻止能比

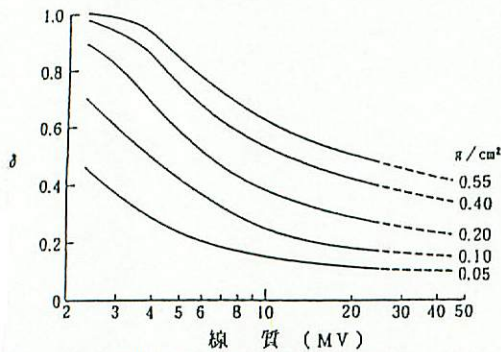


Fig. 3 X線で照射された際の電離箱空洞空気中の電離の内、電離箱壁からの電子による割合(δ)

れず、便宜上δ=0.12とした。よって、

$$\alpha = \left\{ 1 + \frac{0.12}{1-0.12} \cdot \frac{1.1345}{1.1206} \cdot \frac{1.1089}{1.0916} \right\}^{-1} = 0.877$$

$$\gamma = 1 - \alpha = 1 - 0.877 = 0.123$$

$$\therefore (f \text{ med}) \lambda = 0.877 \frac{1}{1.1206} + 0.123 \frac{1 \cdot 1.0916}{1.134 \cdot 1.1089}$$

= 0.8894となった。

d. (Pα)λの計算

半径変位法により、電離箱の内径を考慮し2mmシフトした。

e. (Cλ) medの計算

a. ~d. までに得られた、各々の数値を代入して、
(Cλ) med = 33.73 · 0.990 · 0.967 · $\frac{1}{0.889}$ = 0.937となった。

4. 4 6, 8, 10, 12, 15MeV電子線のエネルギー校正

改訂された吸収線量変換係数を求めるために、エネルギー測定の際には、d_{0.5}の2倍以上の大きさのトープスを使用した。(すなわち、6, 8, 10 MeV に対しては、10×10 cm² 12, 15 MeV に対しては14×14 cm² を使用)

i) 従来の方法

実用飛程 R_p は、深部電離量曲線又は、深部吸収線量曲線の直線的に下降する部分の、外挿直線と制動放射によるバックグラウンドの外挿直線が交わる深さを求めることにより、加速エネルギー E_a と入射エネルギーに分けて次式で近似される。すなわち、

$$R_p = 0.52 \cdot E_a - 0.3$$

R_p = 0.53 · E_p + 0.2 で表わされ、旧測定法による電子線エネルギーの決定は、公称 6 MeV に対しては、5.4 MeV, 8 MeV では 8.3 MeV, 10 MeV では 11.2 MeV では 12.9 MeV, 15 MeV では 14.5 MeV となる。

ii) 改訂された方法

Table 5 ~ Table 9 は、No.2581電離箱線量計による電子線エネルギー決定のために深部量百分率の測定過程を示すもので、メーカーの指示エネルギーが 6 MeV の場合を例にとり、Table 5 を説明すると、指示

深さ d	指示値 M	指示値の 百分率	平均制限質 量阻止能比	平均エネ ルギー (MeV)	電子フルエ ンス係数	吸収線量 変換係数	吸収線量	深部量 百分率	Ac = 0.990 Aw = 0.967 T = 26.20 °C P = 1003.3 mb D0.5 = 2.24 R0.5 = 2.24 E0 = 5.21 Nc = 1.3060
cm	Av	%	(L/ρ) _{w,a}	Ed	Pf	Ce	cGy	%	
0.8	76.57	100.00	1.063	3.790	0.960	32.982	87.156	99.88	
1.0	76.20	99.52	1.072	3.290	0.958	33.182	87.264	100.00	
1.5	67.02	87.53	1.095	2.072	0.953	33.704	77.955	89.33	
2.0	48.80	63.74	1.116	1.011	0.948	34.158	57.530	65.93	
2.5	26.57	34.70	1.129	0.800	0.947	34.508	31.640	36.26	
3.0	11.37	14.85	1.131	0.169	0.944	34.448	13.514	15.49	

Table 5 深部線量百分率の例 (6 MeV)

c m	A v	%	(L/ρ)w,a	E d	P f	C e	c G y	%	A c = 0.990 A w = 0.967 T = 26.45 °C P = 1003.5 mb D 0.5 = 3.13 R 0.5 = 3.13 E 0 = 7.30 N c = 1.3070
0.8	276.00	94.31	1.034	5.604	0.968	32.294	308.050	92.75	
1.0	283.00	96.70	1.039	5.204	0.966	32.422	317.119	95.48	
1.5	292.67	100.00	1.057	4.059	0.962	32.834	332.116	100.00	
2.0	282.67	96.58	1.077	3.074	0.957	33.292	325.245	97.93	
2.5	242.67	82.92	1.096	2.074	0.953	33.733	282.916	85.19	
3.0	169.00	57.74	1.114	1.143	0.949	34.115	199.262	60.00	
3.5	85.00	29.04	1.125	0.900	0.947	34.412	101.093	30.44	
4.0	28.83	9.85	1.127	0.900	0.947	34.487	34.367	10.35	
4.5	9.00	3.08	1.128	0.900	0.947	34.496	10.730	3.23	

Table 6 深部線量百分率の例 (8 MeV)

c m	A v	%	(L/ρ)w,a	E d	P f	C e	c G y	%	A c = 0.990 A w = 0.967 T = 26.80 °C P = 1003.9 mb D 0.5 = 4.35 R 0.5 = 4.35 E 0 = 10.14 N c = 1.3070
1.0	346.83	96.97	1.012	7.335	0.975	31.861	382.216	95.30	
1.5	354.33	99.07	1.023	6.585	0.971	32.085	393.223	98.04	
2.0	357.67	100.00	1.037	5.342	0.967	32.353	400.241	99.79	
2.5	354.67	99.16	1.051	4.413	0.963	32.694	401.065	100.00	
3.0	336.67	94.13	1.067	3.599	0.960	33.068	385.070	96.01	
3.5	297.17	83.08	1.083	2.613	0.955	33.411	343.408	85.62	
4.0	236.67	66.17	1.099	1.906	0.952	33.787	276.576	68.96	
4.5	154.67	43.24	1.113	1.206	0.949	34.099	182.418	45.48	
5.0	80.17	22.41	1.121	0.685	0.946	34.265	95.012	23.69	
5.5	28.17	7.88	1.124	0.642	0.946	34.340	33.456	8.34	
6.0	11.00	3.08	1.125	0.614	0.946	34.352	13.070	3.26	

Table 7 深部線量百分率の例 (10MeV)

c m	A v	%	(L/ρ)w,a	E d	P f	C e	c G y	%	A c = 0.990 A w = 0.967 T = 27.10°C P = 1004.2 mb D 0.5 = 5.20 R 0.5 = 5.24 E 0 = 12.20 N c = 1.3070
1.0	294.67	98.33	0.998	9.804	0.981	31.595	322.242	96.75	
1.5	298.00	99.44	1.007	8.544	0.977	31.763	327.622	98.37	
2.0	299.67	100.00	1.017	7.373	0.974	31.958	331.471	99.52	
2.5	299.00	99.78	1.028	6.084	0.969	32.182	333.058	100.00	
3.0	296.17	98.83	1.040	5.073	0.966	32.428	332.421	99.81	
3.5	284.67	94.99	1.054	4.243	0.962	32.745	322.636	96.87	
4.0	264.00	88.10	1.068	3.443	0.959	33.088	302.346	90.78	
4.5	226.00	75.42	1.083	2.743	0.956	33.440	261.580	78.54	
5.0	174.33	58.18	1.098	1.953	0.952	33.769	203.766	61.18	
5.5	112.00	37.37	1.110	1.343	0.950	34.040	131.960	39.62	
6.0	62.33	20.80	1.119	0.912	0.947	34.228	73.847	22.17	

Table 8 深部線量百分率の例 (12MeV)

c m	Av	%	(L/ρ)w,a	Ed	Pf	Ce	cGy	%	
1.0	273.67	98.68	0.989	11.381	0.984	31.442	296.584	97.21	Ac = 0.990 Aw = 0.967
1.5	276.33	99.64	0.997	10.041	0.981	31.583	300.818	98.59	
2.0	277.33	100.00	1.006	8.713	0.978	31.742	303.425	99.45	T = 24.60°C P = 1000.0 mb
2.5	277.33	100.00	1.015	7.502	0.974	32.917	305.106	100.00	
3.0	275.00	99.16	1.025	6.413	0.970	32.121	304.465	99.79	D0.5 = 5.84 R0.5 = 5.91
3.5	269.00	97.00	1.036	5.346	0.967	32.348	299.935	98.31	
4.0	258.33	93.15	1.049	4.546	0.964	32.630	290.548	95.23	E0 = 13.78 Nc = 1.3070
4.5	238.33	85.94	1.062	3.846	0.961	32.945	270.640	88.70	
5.0	211.33	76.20	1.075	3.135	0.958	33.251	242.209	79.39	
5.5	168.33	60.70	1.089	2.446	0.955	33.570	194.777	63.84	
6.0	124.33	44.83	1.102	1.779	0.952	33.871	145.157	47.58	

Table 9 深部線量百分率の例 (15MeV)

値をM, 表中第2欄を最大電離深0.8cm深部に対する百分率として表わし, これを第3欄に示す。一方, 電子線の平均入射エネルギー \bar{E}_0 [MeV] と線量半価深 $R_{0.5}$ [cm] との間には, 次の関係式が成立する。

$$\bar{E}_0 = 2.33 \cdot R_{0.5}$$

しかし, 線量半価深 $R_{0.5}$ を求めることは, 電離量を吸収線量に換算する手順が入るため, これを電離量半価深 $d_{0.5}$ から求めることは見掛け以上に困難である。ただし, 電離量半価深と線量半価深との関係から, 平均入射エネルギー \bar{E}_0 が16 MeV 以下では, $R_{0.5}$ と $d_{0.5}$ がほぼ同一である。又, 両者の間には次の関係式が成立するので, 測定により $d_{0.5}$ が求めれば, $R_{0.5}$ 並びに電子線の平均入射エネルギー \bar{E}_0 が求められる。

$\bar{E}_0 \leq 12$ MeV ($d_{0.5} \leq 0.51$ cm) のとき $R_{0.5} = d_{0.5}$
 12 MeV $< \bar{E}_0 \leq 30$ MeV ($d_{0.5} > 0.51$ cm) のとき
 $R_{0.5} = -5.4719 + 1.1886 (d_{0.5}) - 0.001872 (d_{0.5})^2 + 0.000008114 (d_{0.5})^3$ となり, $\bar{E}_0 = 2.33 \cdot R_{0.5} = 2.33 \cdot 2.24 = 5.21$ MeV を得た。

平均入射エネルギー $\bar{E}_0 = 5.21$ MeV の場合の各深部における平均エネルギーを求めたものが, 表の5欄である。ここで問題となったのは, 2.5cm深部以上のデータが日本医学放射線学会物理部会の資料では明記されておらず, 外挿法により, 便宜上近似計算させた。Table10から⁹⁾平均制限衝突阻止能比 (\bar{L}/ρ) water, air を求め, 結果を表4欄に示す。

電子フルエンス擾乱係数Pfの算出法は, 次式に示す通りで¹⁰⁾,

$$Pf = 0.9427 + 0.005275 \cdot E(d) - 0.0001587 \cdot E(d)^2 +$$

$0.00001458 \cdot E(d)^3$ より, 結果をb欄に示す。

次に, それぞれのパラメーターを用い, 吸収線量変換係数 C_E の計算式は,

$$C_E = (W_{air}/e) \cdot A_c \cdot A_w \cdot (f_{water})$$

$A_c : 0.990$

$A_w : 0.967$

$f_{water} : \alpha \cdot (\bar{L}/\rho)_{air, water}$

となり, 各深部における結果を7欄に示す。ここで, α は全深部について, 1.0とした。

吸収線量の算出は次式に示す通りで,

$$Dc = M \cdot K \cdot Nc \cdot Pion \cdot C_E \cdot P_d \cdot P_f \text{ (cGy)}$$

$$Nc = 2.58 \cdot 10^{-2} (C \cdot kg^{-1} \cdot R^{-1})$$

K ; 大気補正係数

Pion ; イオン再結合補正係数

各深部に対する吸収線量の結果を8欄に示す。尚, 9欄に深部百分率を示した。

4, 5, 6, 8, 10, 12, 15 MeV 電子線の出力測定

i) 予め各エネルギーに応じた深部量百分率の結果より基準深を決定する。

ii) 各エネルギー深部に応じた平均制限質量阻止能比・電子フルエンス係数を決定する。

iii) 吸収線量変換係数の算出

iv) 吸収線量の算出

Table 11は, 各電子線エネルギーに対する基準深と吸収線量変換係数, 並びに電子フルエンス係数を示す。

$d = 10 \text{ keV}$ (Berger, 1983)

電子線の平均入射エネルギー

\bar{E}_0 (MeV)	30.0	25.0	20.0	18.0	16.0	14.0	12.0	10.0	9.0	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0	3.0	2.0	1.0
深さ d (cm)																	
0.0	0.928	0.940	0.955	0.961	0.969	0.977	0.986	0.997	1.003	1.011	1.019	1.029	1.040	1.059	1.078	1.097	1.116
0.1	0.929	0.941	0.955	0.962	0.969	0.978	0.987	0.998	1.005	1.012	1.020	1.030	1.042	1.061	1.081	1.101	1.124
0.2	0.930	0.942	0.956	0.963	0.970	0.978	0.988	0.999	1.006	1.013	1.022	1.032	1.044	1.064	1.084	1.106	1.131
0.3	0.931	0.943	0.957	0.964	0.971	0.979	0.989	1.000	1.007	1.015	1.024	1.034	1.046	1.067	1.089	1.112	1.135
0.4	0.932	0.944	0.958	0.965	0.972	0.980	0.990	1.002	1.009	1.017	1.026	1.036	1.050	1.071	1.093	1.117	1.136
0.5	0.933	0.945	0.959	0.966	0.973	0.982	0.991	1.003	1.010	1.019	1.028	1.039	1.054	1.076	1.098	1.122	
0.6	0.934	0.946	0.960	0.967	0.974	0.983	0.993	1.005	1.012	1.021	1.031	1.043	1.058	1.080	1.103	1.126	
0.8	0.936	0.948	0.962	0.969	0.976	0.985	0.996	1.009	1.016	1.026	1.037	1.050	1.067	1.090	1.113	1.133	
1.0	0.938	0.950	0.964	0.971	0.979	0.988	0.999	1.013	1.021	1.031	1.043	1.058	1.076	1.099	1.121		
1.2	0.940	0.952	0.966	0.973	0.981	0.991	1.002	1.017	1.026	1.037	1.050	1.066	1.085	1.108	1.129		
1.4	0.942	0.954	0.968	0.976	0.984	0.994	1.006	1.022	1.032	1.044	1.058	1.075	1.095	1.117	1.133		
1.6	0.944	0.956	0.971	0.978	0.987	0.997	1.010	1.027	1.038	1.050	1.066	1.084	1.104	1.124			
1.8	0.945	0.957	0.973	0.981	0.990	1.001	1.014	1.032	1.044	1.057	1.074	1.093	1.112	1.130			
2.0	0.947	0.959	0.975	0.983	0.993	1.004	1.018	1.038	1.050	1.065	1.082	1.101	1.120	1.133			
2.5	0.952	0.964	0.981	0.990	1.000	1.013	1.030	1.053	1.067	1.083	1.102	1.120	1.131				
3.0	0.956	0.969	0.987	0.997	1.008	1.023	1.042	1.069	1.084	1.102	1.119	1.129					
3.5	0.960	0.974	0.994	1.004	1.017	1.034	1.056	1.085	1.102	1.118	1.128						
4.0	0.964	0.979	1.001	1.012	1.027	1.046	1.071	1.101	1.116	1.126							
4.5	0.969	0.985	1.008	1.021	1.037	1.059	1.086	1.115	1.125	1.127							
5.0	0.973	0.990	1.016	1.030	1.049	1.072	1.101	1.123	1.126								
5.5	0.978	0.996	1.024	1.040	1.061	1.086	1.113	1.125									
6.0	0.983	1.002	1.033	1.051	1.074	1.100	1.121										
7.0	0.993	1.017	1.054	1.075	1.099	1.118	1.122										
8.0	1.005	1.032	1.076	1.098	1.116	1.120											
9.0	1.018	1.049	1.098	1.114	1.118												
10.0	1.032	1.068	1.112	1.116													
12.0	1.062	1.103															
14.0	1.095	1.107															
16.0	1.103																

d はカットオフエネルギー。

Table 10 電子に対する水/空気の平均制限衝突質量阻止能力

5. 考察及び結語

- i) X線のエネルギーを知ることの第一の狙いは、線量評価のための線質の決定にある。
 - a. 平均制限衝突質量阻止能比の算出
 - b. 擾乱係数の決定
- ii) TPRの0.7線量レベル、 $d_{0.7}$ とX線エネルギーとの間には、一義的な関係があり、ピーク深に代わる情報として役立った。
- iii) 電子線の深部吸収線量分布を変化させる因子は大変多く、ユバルト60ガンマ線や高エネルギーX線のように、標準的な吸収線量分布を示すことは出来ない。
- iv) 各施設において、電離箱の種類とその材質により、Ac, Aw等を決定し、自己の測定データを正確なものとし、JARP型以外の線量計でも、線量測定の精度・正確の向上につとめることが出来た。
- v) 加速器を新設したり、X線エネルギーを再調整するような場合、公称エネルギーを前述の方法に

より求めたデータに一致するようにすれば、既発表の深部線量に関するデータを参照・利用出来るので便利であった。

MeV	基準深 (cm)	$C_e = (W_{air}/e) \cdot A_c \cdot A_w - (f_{water}) \cdot Pf \cdot Pd$
6	1.0	0.856 (33.73 x 0.99 x 0.967 x 1.072 x 0.958)
8	1.5	0.847 (33.73 x 0.99 x 0.967 x 1.057 x 0.962)
10	2.0	0.853 (33.73 x 0.99 x 0.967 x 1.037 x 0.967)
12	2.5	0.830 (33.73 x 0.99 x 0.967 x 1.028 x 0.969)
15	2.5	0.824 (33.73 x 0.99 x 0.967 x 1.015 x 0.974)

Table 11 電子線出力測定結果

文 献

- 1) 川島勝弘, 小山一郎他 ; 関東医学, 18 : 60-65, (1968)
- 2) N A C P ; Acta Radiologica Oncology, 19 : 55-79, (1980)
- 3) A A P M ; Med. Phys. 10, 741-771, (1983)
- 4) Cunningham, J. R., Schulz, R. J. ; Med Phys. 11 : 618-623, (1984)
- 5) 川島勝弘 ; 放射線治療のための線量測定その1, 光子エネルギーの決定法, 放治システム研究 2 : 17-23, (1985)
- 6) Lemmert, G., Nath, R., et al. ; Med. Phys. 10 : 1-3, (1983)
- 7) Johns, H. E., Cunningham, J. R. ; The Physics of Radiology, 4th. ed Thomas, Springfield
- 8) Cunningham, J. R., Sontag, M. R. ; Med. Phys. 7 : 672-676, (1980)
- 9) A A P M ; Med. Phys., 10 : 741, (1983)
- 10) 川島勝弘, 星野一雄他 ; 放治システム研究 2 : 261-269, (1985)